

## 明 細 書

### スターリング機関

### 技術分野

- [0001] 本発明はスターリング機関、中でもフリーピストン形のスターリング機関に関する。

### 背景技術

- [0002] スターリング機関は、フロンでなくヘリウム、水素、窒素などを作動ガスとして用い得るので、オゾン層の破壊を招くことのない熱機関として注目を集めている。特許文献1－3にスターリング機関の例を見ることができる。

特許文献1:特開2000－337725号公報(第2－4頁、図1)

特許文献2:特開2001－231239号公報(第2－4頁、図1)

特許文献3:特開2002－349347号公報(第5－6頁、図1)

### 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0003] スターリング機関は、未だ量産には至っていない。量産化するには、少なくとも組立性を良くし、組立後の品質安定性を確保することが必要である。
- [0004] スターリング機関は微妙なバランスのもとで運転を成立させるものであり、所期の性能を発揮させるためには設計及び組立調整を適切に、且つ入念に行うことが必要となる。そのため、1台毎に性能チェックが欠かせない。しかしながらスターリング機関は、構成要素が圧力容器内に封入されており、所期の性能が出ていないことを発見しても、調整し直すことが容易ではなかった。この問題に対処するに際しては、スターリング機関の外殻を構成する圧力容器の構造を見直す必要がある。本発明の発明者は、圧力容器を分割構造とすること、及び分割位置の設定が、組立性や品質安定性に大きな影響を与えることを見いだした。
- [0005] 本発明は上記事項に鑑みてなされたものであり、組立性が良く、組立後の品質安定性が確保されるとともに、性能チェック後の調整が容易なスターリング機関を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

- [0006] 上記目的を達成するため、本発明ではスターリング機関を次のように構成する。すなわち、シリンダと、シリンダ内に往復動自在に配置されたピストンと、前記ピストンと位相差を有して往復動するディスプレイサと、前記ピストンを駆動するリニアモータと、前記シリンダ、ピストン、及びリニアモータを覆う圧力容器とを備えたスターリング機関において、前記圧力容器に分割部を設けるとともに、この分割部は、前記リニアモータのピストン支持側端よりもディスプレイサ配置側に寄った位置にあるものとする。分割部の位置は前記リニアモータのピストン支持側端とディスプレイサ側端の間とするのが好ましい。なぜならば、分割部がこの位置にあると、圧力容器に固着されたハーメチック端子(リニアモータへの電源供給端子)とリニアモータのリード線との接続や、リード線の引き回しがやりやすくなるからである。
- [0007] この構成によると、圧力容器を分割すればリニアモータのピストン支持側が露出する。この状態でリニアモータの配線作業、あるいはピストンやディスプレイサの組立作業を行えるので、組立性が良い。また、無理な組立作業を行わなくて済むことにより、品質安定性が向上する。
- [0008] また本発明は、上記構成のスターリング機関において、前記分割部が、前記リニアモータの軸線方向中央部に位置することを特徴とする。
- [0009] この構成によると、分割部はリニアモータの両端の合成樹脂製エンドブラケットに対し均等な距離を有することになる。このため、分割部を熔接して圧力容器を封止するとき、熔接熱による損傷を受けにくい。これもまた品質安定性の確保に寄与する。
- [0010] また本発明では、スターリング機関を次のように構成する。すなわち、シリンダと、シリンダ内に往復動自在に配置されたピストンと、前記ピストンと位相差を有して往復動するディスプレイサと、前記ピストンを駆動するリニアモータと、前記シリンダ、ピストン、及びリニアモータを覆う圧力容器とを備えたスターリング機関において、前記圧力容器に分割部を設け、この分割部は、シール部材を用いて封止する仮封止と、熔接により封止する本封止の両方が可能な形状になっているものとする。
- [0011] この構成によると、圧力容器を仮封止して組み立てた状態でまず性能チェックを行い、不具合が見つければすぐに圧力容器を分解して不具合の原因を排除することが

できる。従って、不具合のある製品を不良品として廃棄せずに済み、資源の無駄が生じない。また、全ての製品を品質基準を満たす形で出荷することができ、製品の信頼性が高まる。

- [0012] また本発明は、上記構成のスターリング機関において、前記分割部は、少なくとも一方の圧力容器形成体にフランジ形状部を設け、このフランジ形状部にシール部材配置部を設けるとともに、このフランジ形状部の外側周方向に本封止をするための熔接箇所を配置した構成であることを特徴とする。
- [0013] この構成によると、フランジ形状部にシール部材を配置することにより容易に仮封止を行うことができる。そして本封止の際の熔接箇所がフランジ形状部の外側周方向となるので、圧力容器内に配設された構成物に対して、熔接時の熱による変形等の悪影響が及ぶのを抑制することができる。なお、このような熱の影響は、例えばリニアモータのエンドブラケットを樹脂で製造した場合のように、圧力容器内に樹脂製構成物を備える場合に生じやすいのであるが、このような樹脂製構成物を備えるものに好適な構造を本発明は提供するものである。
- [0014] また本発明は、上記構成のスターリング機関において、前記分割部が、前記リニアモータのピストン支持側端よりもディスプレイサ配置側に寄った位置にあることを特徴とする。
- [0015] この構成によると、圧力容器を仮封止して組み立てた状態で性能チェックを行った結果不具合を発見した場合には、圧力容器を分割してリニアモータやピストン、ディスプレイサの支持部を露出させることができる。これにより、点検・調整を容易に行うことができる。
- [0016] また本発明は、上記構成のスターリング機関において、前記分割部が、前記リニアモータの軸線方向中央部に位置することを特徴とする。
- [0017] この構成によると、分割部はリニアモータの両端の合成樹脂製エンドブラケットに対し均等な距離を保つ。このため、分割部を熔接して本封止を行うとき、両側のエンドブラケットは熔接部から均等に遠ざかっているため、熔接熱による損傷を受けにくい。これもまた品質安定性の確保に寄与する。

発明の効果

[0018] 本発明によると、圧力容器を分割構造とし、その分割部の位置と形状に工夫をこらすこ

とにより、組立性の向上、品質安定性の向上、信頼性の向上、点検・調整の容易さの向上など、様々な効果を享受できる。

#### 図面の簡単な説明

[0019] [図1]第1実施形態のスターリング機関の完成品の断面図である。

[図2]第1実施形態のスターリング機関の仮接合の段階における断面図である。

[図3]図2の要部拡大図である。

[図4]第2実施形態のスターリング機関の完成品の断面図である。

#### 符号の説明

- [0020]
- 1 スターリング機関
  - 10、11 シリンダ
  - 12 ピストン
  - 13 ディスプレーサ
  - 20 リニアモータ
  - 45 圧縮空間
  - 46 膨張空間
  - 50 圧力容器
  - 51 バウンス空間
  - 52 リング状部
  - 53 ドーム状部
  - 54、55 フランジ形状部
  - 57 シール部材配置部
  - 58 熔接部
  - 71、72 締付リング
  - 73 ボルト
  - 80 フランジ形状部

発明を実施するための最良の形態

- [0021] 以下に本発明の実施形態を図面を参照して説明する。図1－3に第1実施形態を示す。図1はスターリング機関の完成品の断面図、図2は仮接合の段階における断面図、図3は図2の要部拡大図である。
- [0022] スターリング機関1の組立の中心となるのはシリンダ10、11である。シリンダ10、11の軸線は同一直線上に並ぶ。シリンダ10にはピストン12が挿入され、シリンダ11にはディスプレイサ13が挿入される。ピストン12及びディスプレイサ13は、スターリング機関1の運転中、ガスベアリングの仕組みによりシリンダ10、11の内壁に接触することなく往復運動する。
- [0023] ピストン12の一方の端にはカップ状のマグネットホルダ14が固定される。ディスプレイサ13の一方の端からはディスプレイサ軸15が突出する。ディスプレイサ軸15はピストン12及びマグネットホルダ14を軸方向に自由にスライドできるように貫通する。スターリング機関1の運転中、ディスプレイサ軸15はピストン12に接触することなく動く。
- [0024] シリンダ10はピストン12の動作領域にあたる部分の外側にリニアモータ20を保持する。リニアモータ20は、コイル21を備えた外側ヨーク22と、シリンダ10の外面に接するように設けられた内側ヨーク23と、外側ヨーク22と内側ヨーク23の間の環状空間に挿入されたリング状のマグネット24と、外側ヨーク22及び内側ヨーク23を所定の位置関係に保持する合成樹脂製エンドブラケット26、27と、該エンドブラケット26、27間を一定の距離に保つためのスペーサ25とを備える。マグネット24はマグネットホルダ14に固定され、外側ヨーク22と内側ヨーク23のいずれにも接触しないように支持されている。
- [0025] マグネットホルダ14のハブの部分にはスプリング30の中心部が固定される。ディスプレイサ軸15にはスプリング31の中心部が固定される。スプリング30、31の外周部はエンドブラケット27に固定される。スプリング30、31の外周部同士の間にはスペーサ32が配置されており、これによりスプリング30、31は一定の距離を保つ。スプリング30、31は円板形の素材にスパイラル状の切り込みを入れたものであり、ピストン12、ディスプレイサ13のそれぞれと共振を起こす。
- [0026] シリンダ11のうち、端部(ディスプレイサ13の動作領域にあたる部分)の外側には

伝熱ヘッド40、41が配置される。伝熱ヘッド40はリング状、伝熱ヘッド41はキャップ状であって、いずれも銅や銅合金など熱伝導の良い金属からなる。伝熱ヘッド40、41は各々リング状の内部熱交換器42、43を介在させた形でシリンダ11の外側に支持される。内部熱交換器42、43はそれぞれ通気性を有し、内部を通り抜ける作動ガスの熱を伝熱ヘッド40、41に伝える。伝熱ヘッド40にはシリンダ10及び圧力容器50が連結される。

[0027] 伝熱ヘッド40、シリンダ10、11、ピストン12、及び内部熱交換器42で囲まれた環状の空間は圧縮空間45となる。伝熱ヘッド41、シリンダ11、ディスプレイサ13、及び内部熱交換器43で囲まれる空間は膨張空間46となる。

[0028] 内部熱交換器42、43の間には再生器47が配置される。再生器47も通気性を有し、内部を作動ガスが通る。再生器47の外側を再生器チューブ48が包む。再生器チューブ48は伝熱ヘッド40、41の間に気密通路を構成する。

[0029] リニアモータ20、シリンダ10、及びピストン12を筒状の圧力容器50が覆う。圧力容器50の内部はバウンス空間51となる。圧力容器50の構造は後で詳細に説明する。

[0030] 圧力容器50には振動抑制装置60が取り付けられる。振動抑制装置60は、圧力容器50に固定されるフレーム61と、フレーム61に支持された板状のスプリング62と、スプリング62に支持されたマス(質量)63とからなる。

[0031] スターリング機関1は次のように動作する。リニアモータ20のコイル21に交流電流を供給すると外側ヨーク22と内側ヨーク23の間にマグネット24を貫通する磁界が発生し、マグネット24は軸方向に往復する。ピストン系(ピストン12、マグネットホルダ14、マグネット24、及びスプリング30)の総質量と、スプリング30のバネ定数とにより定まる共振周波数に一致する周波数の電力を供給することにより、ピストン系は滑らかな正弦波状の往復運動を開始する。

[0032] また、ディスプレイサ系(ディスプレイサ13、ディスプレイサ軸15、及びスプリング31)の総質量と、スプリング31のバネ定数とにより定まる共振周波数を、ピストン12の駆動周波数に共振するよう設定する。

[0033] そして、ピストン12を往復運動させると、圧縮空間は圧縮、膨脹が繰り返される。この圧力の変化に伴って、ディスプレイサ13も往復運動を行う。このとき、圧縮空間45

と膨張空間46との間の流動抵抗等により、ディスプレイサ13とピストン12との間には位相差が生じることになる。上記のようにしてフリーピストン構造のディスプレイサ13はピストン12の振動周波数とは位相差を有して同期して振動する。

[0034] このような動作により、圧縮空間45と膨張空間46との間にスターリングサイクルが形成される。圧縮空間では等温圧縮変化に基いて作動ガスの温度が上昇し、膨張空間46では等温膨張変化に基づいて作動ガスの温度が低下する。このため、圧縮空間45の温度は上昇し、膨張空間46の温度は下降する。

[0035] 運転中に圧縮空間45と膨張空間46の間を往復する作動ガスは、内部熱交換器42、43を通過する際に、その有する熱を内部熱交換器42、43を通じて良好に伝熱ヘッド40、41に伝える。圧縮空間45から再生器47へ流れ込む作動ガスは高温であるため伝熱ヘッド40は加熱され、伝熱ヘッド40はウォームヘッドとなる。膨張空間46から再生器47へ流れ込む作動ガスは低温であるため伝熱ヘッド41は冷却され、伝熱ヘッド41はコールドヘッドとなる。伝熱ヘッド40より熱を大気へ放散し、伝熱ヘッド41で特定空間の温度を下げることにより、スターリング機関1は冷凍機関としての機能を果たす。

[0036] 再生器47は、圧縮空間45と膨張空間46の熱を相手側の空間には伝えず、作動ガスだけを通す働きをする。圧縮空間45から内部熱交換器42を経て再生器47に入った高温の作動ガスは、再生器47を通過するときにその熱を再生器47に与え、温度が下がった状態で膨張空間46に流入する。膨張空間46から内部熱交換器43を経て再生器47に入った低温の作動ガスは、再生器47を通過するときに再生器47から熱を回収し、温度が上がった状態で圧縮空間45に流入する。すなわち再生器47は蓄熱装置としての役割を果たす。

[0037] 圧力容器50の構造は次のようになっている。すなわち圧力容器50は、伝熱ヘッド40に接合される圧力容器形成体の一方であるリング状部52と、このリング状部52に接合される圧力容器形成体の他方であるドーム状部53とに2分割されている。分割面はスターリング機関1の軸線と直角であり、且つリニアモータ20を横切る位置にある。横切る位置は、リニアモータ20のピストン支持側端よりもディスプレイサ配置側に寄った位置とする。この実施形態では、リニアモータ20の軸線方向中央部を横切って

いる。

- [0038] リング状部52、ドーム状部53ともステンレス鋼製である。リング状部52の一端はテーパ状に絞り込まれ、伝熱ヘッド40にロウ付けされる。テーパ状の絞り込み部52aは、バウンス空間51の容積を縮小するのに役立つ。リング状部52の他端と、これに向かい合うドーム状部53の開口端には、フランジ形状部54、55が配設される。
- [0039] フランジ形状部54、55の構造を図3を用いて詳細に説明する。フランジ形状部54、55ともに、別体として成形したステンレス鋼製のリングをリング状部52とドーム状部53に溶接して形成される。溶接は隅肉溶接56である。フランジ形状部54、55の内側周方向には、フランジ形状部54側を凹とし、フランジ形状部55側を凸とするシール部材配置部57が設けられる。仮封止時にはシール部材配置部57にリング状のシール部材70を配置することにより、密閉を保つことができる。
- [0040] フランジ形状部54、55の接合面と反対側の面には、仮封止時の締付リング71、72と当接する当接面であり、隅肉溶接56を施したときに当接面からロウ材が流れ出ないように、凹状の段差を備えた形状に形成されている。
- [0041] フランジ形状部54、55の内周面にはそれぞれ環状溝74が形成される。環状溝74には、フランジ形状部54、55とリング状部52、ドーム状部53の間の気密を保つリング状のシール部材75が配置される。
- [0042] フランジ形状部54、55は最終的には互いの端面の外側同士を溶接し、溶接部58(図1参照)をもって本接合される。溶接のため、フランジ形状部54、55の合わせ目には外側周方向に溶接箇所となる開先部59が形設され(図3参照)、ロウ材を盛りやすくしてある。本発明では、溶接による本接合に先だって仮接合を行い、その状態でスターリング機関としての性能チェックを行う。
- [0043] 仮封止は次のようにして行う。まず図3に示すように、フランジ形状部54側のシール部材配置部57にシール部材70を入れる。シール部材70はOリングである。それからフランジ形状部55の端面側をフランジ形状部54の端面に当接させると、シール部材70はフランジ形状部54、55間に挟まれる形になる。
- [0044] 続いて、図2に示すように、フランジ形状部54、55を1対の締付リング71、72で挟む。この締付リング71、72をボルト73で締め付けると、シール部材70は圧縮されて



変形し、フランジ形状部54、55の間の気密性が高まる。これにより、圧力容器50の内圧を高めても作動ガスが漏れることはなくなる。

- [0045] 仮封止の状態でスターリング機関1の性能チェックを行う。不具合が見つければボルト73を緩めて締付リング71、72による締付を解き、ドーム状部53をリング状部52から取り外す。そして各部の点検や調整を行う。リニアモータ20を横切る位置に分割部があるので、ドーム状部53を取り外せばリニアモータ20が露出状態になり、リニアモータ20の点検・調整を容易に行うことができる。
- [0046] 点検・調整を行い、不具合の原因を排除した後、再びドーム状部53をかぶせて仮接合し、性能を再度チェックする。
- [0047] 所期の性能を確認できたら仮封止から本封止に移る。締付リング71、72を取り外し、テーパ部59を熔接することにより本封止を行う。熔接を始める前にシール部材70を取り外す。なお、熔接の熱に耐えられるものであれば、シール部材70はそのままフランジ形状部54、55の間に残してもよい。シール部材75は、取り外し可能ではないため、熔接の熱に耐えられることが必須条件となる。
- [0048] 本封止の熔接箇所はフランジ形状部54、55の外周部同士であり、圧力容器50内の構成要素から遠ざかっている。従って、圧力容器50内の構成要素が熔接の熱で損傷を受ける率が低くなる。
- [0049] 本実施形態では、圧力容器50の分割部はリニアモータ20の軸線方向中央部に位置している。そのため、熔接箇所とエンドブラケット26、27との間に均等に距離を確保することができ、エンドブラケット26、27のいずれにも熔接の熱が届きにくい。従って、合成樹脂製のエンドブラケット26、27を用いた場合であっても熱で損傷を受けにくい。特に、本実施形態の構成では、エンドブラケット27にスプリング30、31を固定するようにしている。そのため、エンドブラケット27が変形すると、スプリング30、31の位置がずれる場合がある。この位置ずれが発生すると、圧縮空間45、膨脹空間46の容積や、ピストン及びディスプレイサの振動系に影響を与えることになる。しかし、上記構成によれば、熔接時の熱の影響でこのような位置ずれが発生することがないため、良好に性能を発揮することが可能となる。
- [0050] 本実施形態では、分割部を仮封止と本封止の両方が可能な形状にしているが、本

封止のみが可能な形状を採用することも可能である。この場合、仮封止を解除して点検や調整を行うということとはできないが、組立工程における配線作業、具体的には圧力容器に固着さ

れたハーメチック端子(リニアモータへの電源供給端子)とリニアモータのリード線との接続や、リード線の引き回しがやりやすくなるという効果は共通である。また、熔接の熱による悪影響を受け難いという利点も共通である。

[0051] 第2実施形態を図4に示す。図4はスターリング機関の完成品の断面図である。第1実施形態と同一の構成要素や機能的に共通する構成要素には第1実施形態の説明で使用した符号をそのまま付し、説明は省略する。

[0052] 圧力容器50は、開口端にリングを熔接してフランジ形状部55を形成したドーム状部53と、伝熱ヘッド40とにより構成される。圧力容器50の分割面はリニアモータ20よりもディスプレイサ13側に寄った位置にある。

[0053] 圧力容器50のフランジ形状部55と、伝熱ヘッド40に係合するフランジ形状部80とをボルト73で締め付け、仮封止を行う。フランジ形状部55とフランジ形状部80の間、伝熱ヘッド40の外周面とフランジ形状部80の内周面との間、及び伝熱ヘッド40の外側面とフランジ形状部80の内側面の間にはそれぞれシール部材70を挟み込んでおき、気密性を高める。

[0054] 第2実施形態においては、「仮封止」として指定された締付トルクでボルト73を締め付けておいてスターリング機関1の性能チェックを行う。不具合が見つければボルト73を緩めてフランジ形状部55、80の連結を解き、ドーム状部53を伝熱ヘッド40から取り外して各部の調整を行う。調整し直した後、再びドーム状部53をかぶせて仮接合し、性能チェックを行う。所期の性能を確認できたら、ボルト73とフランジ形状部80とを取外し、伝熱ヘッド40とフランジ形状部55とを熔接し、本封止を行う。

[0055] 以上、本発明の実施形態につき説明したが、本発明の範囲はこれに限定されるものではなく、発明の主旨を逸脱しない範囲で種々の変更を加えて実施することができる。

#### 産業上の利用可能性

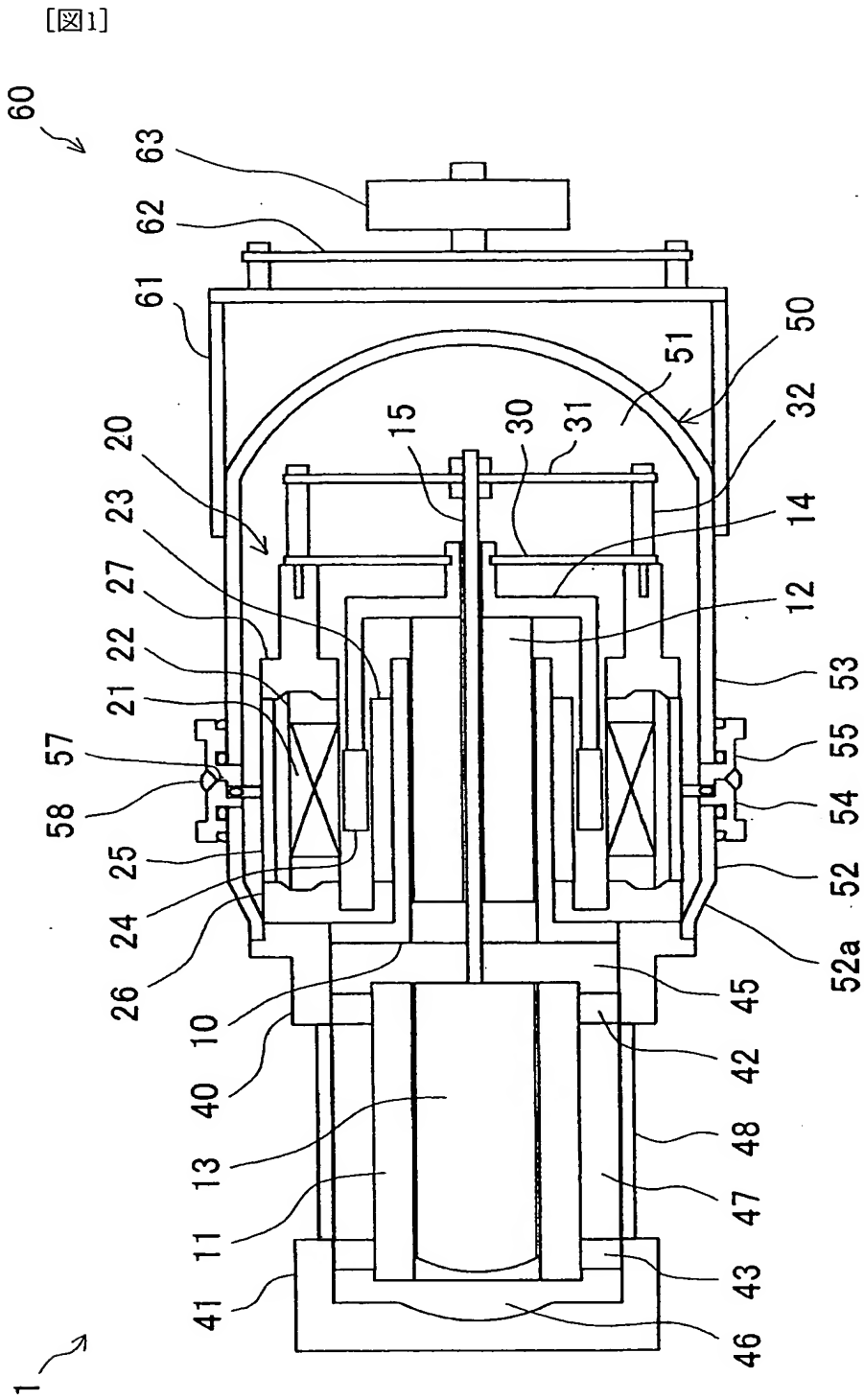
[0056] 本発明は、スターリング機関を製作するうえで広く利用可能である。

## 請求の範囲

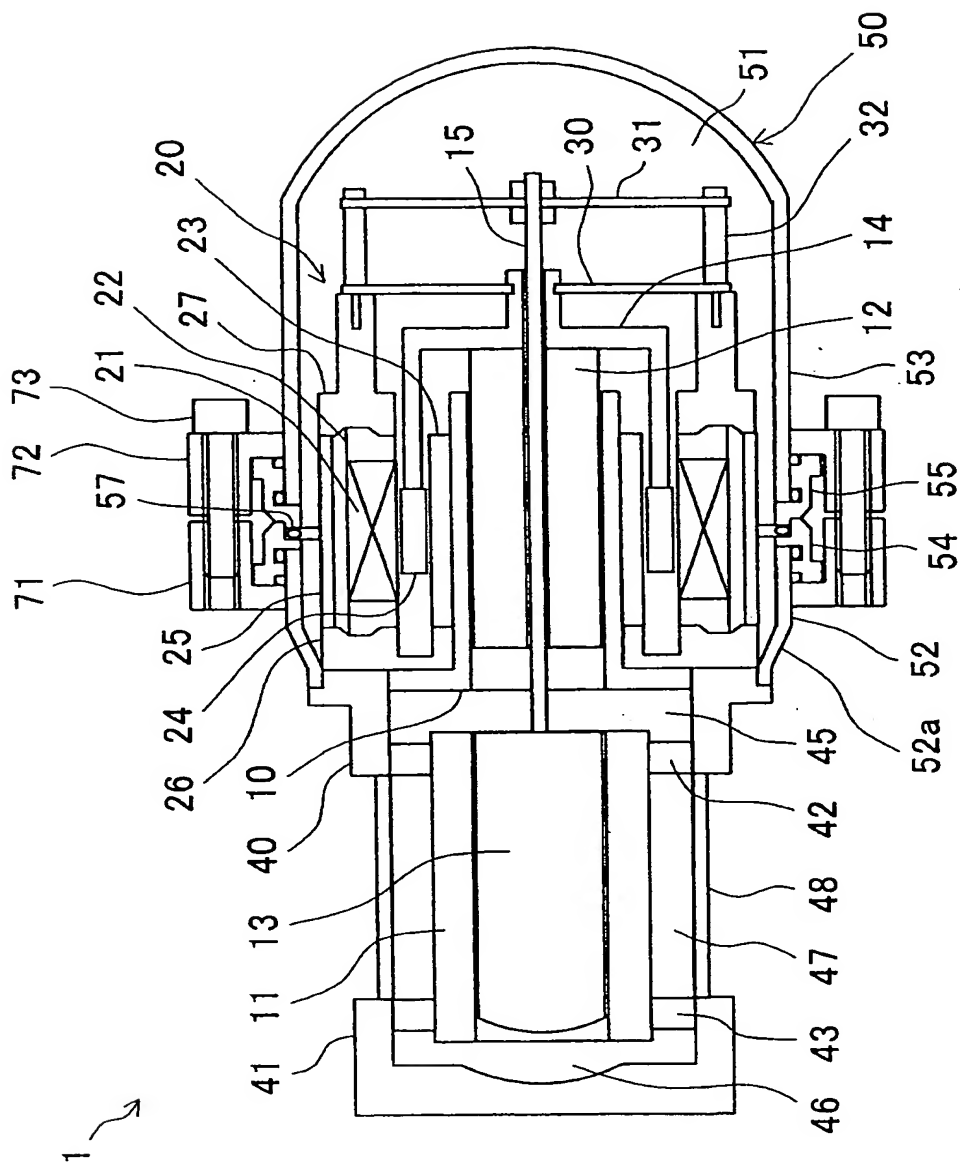
- [1] シリンダと、シリンダ内に往復動自在に配置されたピストンと、前記ピストンと位相差を有して往復動するディスプレイサと、前記ピストンを駆動するリニアモータと、前記シリンダ、ピストン、及びリニアモータを覆う圧力容器とを備えたスターリング機関において、  
前記圧力容器に分割部が設けられ、この分割部は、前記リニアモータのピストン支持側端よりもディスプレイサ配置側に寄った位置にある。
- [2] 請求項1に記載のスターリング機関において、  
前記分割部は、前記リニアモータの軸線方向中央部に位置する。
- [3] シリンダと、シリンダ内に往復動自在に配置されたピストンと、前記ピストンと位相差を有して往復動するディスプレイサと、前記ピストンを駆動するリニアモータと、前記シリンダ、ピストン、及びリニアモータを覆う圧力容器とを備えたスターリング機関において、  
前記圧力容器に分割部が設けられ、この分割部は、シール部材を用いて封止する仮封止  
と、熔接により封止する本封止の両方が可能な形状になっている。
- [4] 請求項3に記載のスターリング機関において、  
前記分割部は、少なくとも一方の圧力容器形成体にフランジ形状部を設け、このフランジ形状部にシール部材配置部を設けるとともに、このフランジ形状部の外側周方向に本封止をするための熔接箇所を配置する。
- [5] 請求項3又は4に記載のスターリング機関において、  
前記分割部は、前記リニアモータのピストン支持側端よりもディスプレイサ配置側に寄った位置にある。
- [6] 請求項5に記載のスターリング機関において、  
前記分割部は、前記リニアモータの軸線方向中央部に位置する。

## 要 約 書

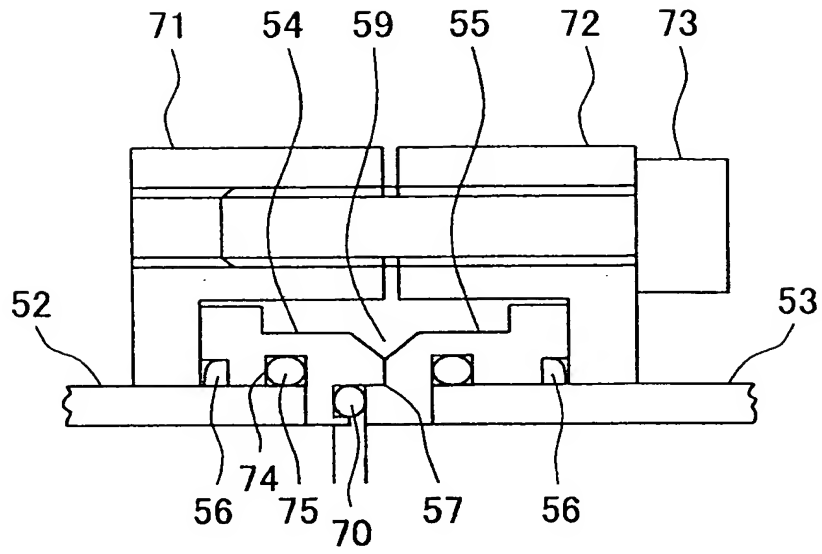
本発明のスターリング機関は、筒状の圧力容器でシリンダ、ピストン、及びリニアモータを覆う。圧力容器はリニアモータのピストン支持側端よりもディスプレイサ配置側に寄った位置でリング状部とドーム状部に分割される。分割部において、リング状部とドーム状部にはそれぞれ外向きのフランジ形状部が形成されている。双方のフランジ形状部同士を合わせて締付リングとボルトで締め付け、圧力容器の仮封止を行う。この状態で性能チェックを行った後、フランジ形状部の外周部同士を熔接して圧力容器の本封止を行う。



[図2]



[図3]



[図4]

